

УДК 504.064.38 + 504.064.36:574

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДЕТЕКТОРОВ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ И КОРПУСКУЛЯРНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

к.ф.-м.н. А.Н. Григорьев, Т.А. Жадан, А.Г. Кареев
(представил д.т.н., проф. Э.Е. Прохач)

Рассматривается применение полупроводниковых детекторов для регистрации электромагнитных и корпускулярных излучений в полевых условиях. В работе показано, что детекторы, разработанные в последние годы, позволяют решать задачи определения состава и количества альфа-, бета- и гамма-излучающих радионуклидов. Даны рекомендации по применению полупроводниковых детекторов для войсковой дозиметрии и спектрометрии ядерных излучений в подсистеме экологического мониторинга.

В течение последних 40 лет для измерения ядерных излучений использовались полупроводниковые детекторы на базе кремния и германия [1]. Недавно (5-7 лет назад) был достигнут значительный прогресс в области детекторов, изготовленных из сложных полупроводников, и в разработке методов для электронного улучшения сигналов, полученного от них. Данный прогресс в значительной степени основан на работах исследователей, пересмотревших возможности применения таких материалов для применения их естественных преимуществ. Этот творческий потенциал привел к лучшим рабочим характеристикам и новым возможностям, в результате чего открылся путь ко многим новым приложениям, которые ранее были вне досягаемости технологии. Например, эти успехи привели к детекторным системам существенно больших размеров, с более высокой разрешающей способностью и многоэлементным матрицам, способным создавать сложные 2-мерные и послойные изображения.

Настоящая работа не является полным обзором всех недавних достижений в данной области, а скорее попытка исследования некоторых новых концепций, которые привели к прогрессу в разработке датчиков на полупроводниковых соединениях, работающих при комнатной температуре. Основные ограничения в применении полупроводниковых датчиков, работоспособных при комнатной температуре, заключались в небольших геометрических размерах детектора и повышенном электронном шуме. Например, в промышленных измерениях, где производительность выпуска продукции является критической, медленный детекторный отклик был несовместим с экономикой управления поточной линией. Точно так же для медицинско-физических приложений, включающих

радиологические исследования, детекторы из полупроводниковых соединений дали такую низкую чувствительность, что были по существу бесполезны для многих, довольно несложных приложений, включая даже обычную проверку фонового радиационного излучения. Для получения детекторов большого объема были исследованы новые методы роста сложных полупроводников. Важный подход, используемый сейчас, чтобы получить детекторы большого объема – исследование новых методов роста сложных полупроводников. Например, использование Бриджмэнского процесса роста кристалла с высоким давлением, для выращивания CdTe и тройного соединения кадмий-цинк-теллур (CZT) в результате дало очень большие кристаллы (до 6 кг), стимулируя изготовление больших детекторов.

Для уменьшения электронных шумов детектора необходимо увеличить его сопротивление до уровня 10^{10} Ом. Такой уровень проводимости кристалла CdTe достигается охлаждением до температуры -30 °C либо применением в качестве детектора CZT.

На рис.1-3 приведены типичные энергетические спектры гамма-квантов, полученные с использованием детекторов на базе CZT.

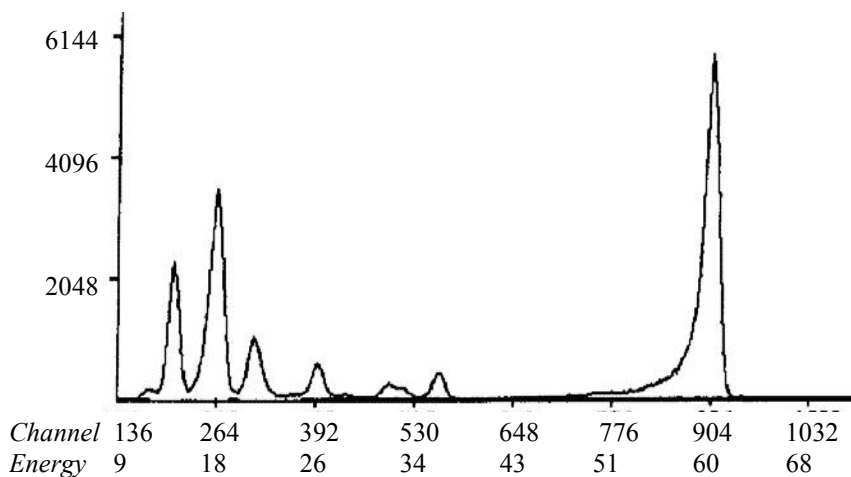


Рис. 1. Энергетический спектр гамма-квантов от источника Am^{241} , измеренный спектрометром на основе CZT детектора ($S = 6 \times 6 \text{ мм}^2$; $d = 0,93 \text{ мм}$), охлажденного до температуры -40 °C [2]

Как видно из рисунков, при помощи CZT детектора можно регистрировать рентгеновские и гамма-излучения, начиная с энергии 5,9 кэВ с разрешением по энергии сопоставимым с разрешением, характерным для кремниевых и германиевых детекторов, охлажденных до температуры

жидкого азота. Подобное качество детекторов на базе CZT позволяет использовать их в промышленных, медицинских и военных целях, в частности для контроля несанкционированного перемещения оружейных делящихся материалов, мониторинга загрязнения окружающей среды радиоактивными материалами и тяжелыми металлами.

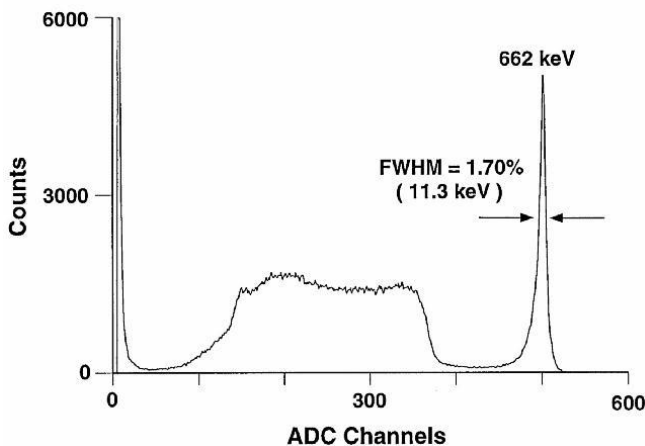


Рис. 2. Энергетический спектр гамма-квантов от источника Cs^{137} , измеренный спектрометром на основе CZT детектора ($V = 0,7 \times 0,7 \times 0,5 \text{ мм}^3$) [3]

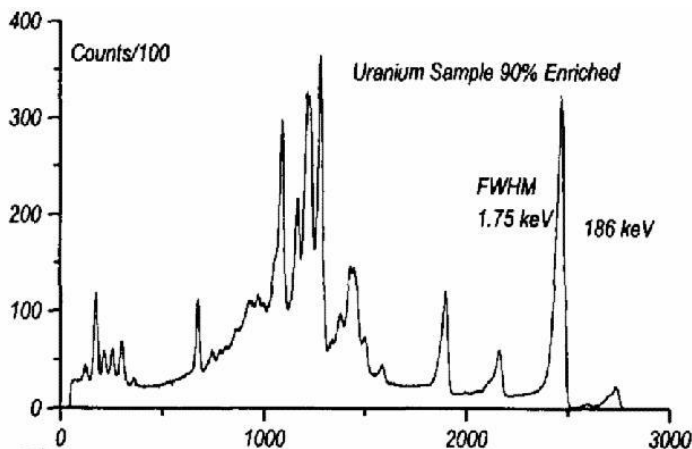


Рис. 3. Энергетический спектр гамма-квантов от источника U^{235} , измеренный спектрометром на основе CZT детектора [4]

Подобные исследования были проведены в Украине на детекторах из CdTe, полученных на заводе чистых металлов г. Светловодска. Был разработан спектрометрический тракт, адаптированный к детектору из CdTe с геометрическими размерами $7 \times 7 \times 3$ мм³ и сопротивлением 10^9 Ом. Энергетическое разрешение на линии Cs¹³⁷ 662 кэВ составляет 2,5 %, а на линии Am²⁴¹ 59,5 кэВ – 5 %, что позволяет использовать подобный детектор во всех перечисленных выше приложениях.

Для измерения энергетических спектров альфа-частиц в качестве детекторов использовались кремниевые фотодиоды ФД-337 и к ним были разработаны спектрометрические усилители. Измерения показали, что энергетическое разрешение спектрометрического тракта не превышает 0,3 % и позволяет также использовать его для измерения плотности потока бета-частиц, включая бета-частиц низкой энергии, от источника трития. Проведенные измерения показали, что эффективность счета бета-частиц от толстого источника трития достигает 25% при регистрации шумовых импульсов не более 1 импульса в минуту.

Полученные характеристики спектрометра на базе детектора из CdTe позволяют решить весь круг задач определения состава и концентрации искусственных радионуклидов, начиная с количеств, превышающих в 100 раз фоновый уровень загрязнения радионуклидами. Отмеченный недостаток детектора (малый объем и, соответственно, невысокая эффективность регистрации гамма-квантов) несущественен для решения задач войск РХБ защиты и мониторинга радиоактивного загрязнения окружающей природной среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Полупроводниковые детекторы в экспериментальной физике / Акимов Ю.К., Игнатьев О.В., Калинин А.И., Кушнерук В.Ф. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 344 с.
2. Khusainov A., Arlt R., Siffert P. Performance of a high resolution CdTe and CdZnTe P-I-N detectors // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. – 1996. – A 380. – P. 558 - 566.
3. He Z., Li W., Knoll G.F., Wehe D.K., Berry J., Stahle C.M. 3-D position sensitive CdZnTe gamma-ray spectrometers // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. – 1999. – A 422. – P. 173 - 178.
4. Arl R., Rundquist D.E. Room temperature semiconductor detectors for safeguards measurements // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. – 1996. – A 380. – P. 455 - 461.

Поступила в редколлегию 13.08.2001